



WayCarbon

**ANÁLISE DE VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE**

APÊNDICES

**PBH
JUNHO/2016
VERSÃO 1.0.0**

CLIENTE	 PREFEITURA BELO HORIZONTE
PROJETO	<p>Análise de Vulnerabilidade a Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte</p> <p>PBH-MOV-15</p>
ENTREGÁVEL	<p>Produto 03 - Relatório Final - Apêndices</p>
AUTORES	<p>Marco Follador (mfollador@waycarbon.com); André Rocha; Ciro Vaz; Melina Amoni; Thiago Vieira ; Virgílio Pereira; Felipe Bittencourt.</p>

HISTÓRICO DO DOCUMENTO

Nome do documento	Data	Natureza da revisão/alteração
Apêndices	02/06/2016	Versão 1.0.0 - Versão inicial

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de entrada do sub-modelo de disponibilidade hídrica.	8
Tabela 2: Dados de entrada de exposição climática para o modelo de impacto potencial sobre a distribuição de dengue no município de Belo Horizonte.	23
Tabela 3: Dados de entrada de sensibilidade socioambiental para o modelo de impacto potencial sobre a distribuição de dengue no município de Belo Horizonte.	30
Tabela 4: Dados de capacidade de adaptação para o modelo de vulnerabilidade à dengue.	32
Tabela 5: Sensibilidade - Sub-bacias Hidrográficas.....	37
Tabela 6: Exposição - Sub-Bacias Hidrográficas.....	38
Tabela 7: Impacto Potencial - Sub-Bacias Hidrográficas.....	39
Tabela 8: Capacidade de Adaptação - Sub-Bacias Hidrográficas.....	40
Tabela 9: Vulnerabilidade - Sub-Bacias Hidrográficas (Sem Medidas de Adaptação).....	41
Tabela 10: Vulnerabilidade - Sub-Bacias Hidrográficas (Com Medidas de Adaptação).....	42



LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1: Vazão média anual simulada (m3/seg) e linha tendência na Bacia do Alto Rio das Velhas.	11
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do modelo de disponibilidade hídrica.	10
Figura 2 - Esquema metodológico para elaboração do Indicador Morfométrico de Susceptibilidade à Inundações.	14
Figura 3 - Esquema metodológico para elaboração do Modelo de Sensibilidade a Inundações.	15
Figura 4 - Esquema metodológico para elaboração do Modelo de Exposição a Inundações.	16
Figura 5 - Esquema metodológico para elaboração do Modelo de Capacidade de Adaptação a Inundações.	19
Figura 6 - Esquema teórico do submodelo de deslizamento.	21
Figura 7 - Fluxograma de validação manual do modelo.	22
Figura 8 - Representação esquemática do submodelo MAXENT para a distribuição de vetores de doenças.	26
Figura 9 - Representação esquemática do submodelo de distribuição de vetores de doenças.	29
Figura 10 - Representação esquemática do submodelo Geodemográfico.	35

SUMÁRIO

1. APÊNDICE A	7
1.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA	7
1.1.1 Introdução	7
1.1.2 Dados	8
1.1.3 Metodologia	8
1.1.4 Resultado	11
1.1.5 Discussão	11
1.1.6 Referências	12
2. APÊNDICE B	13
2.1 METODOLOGIA INUNDAÇÃO	13
2.1.1 Sensibilidade	13
2.1.2 Exposição	15
2.1.3 Impacto Potencial	17
2.1.4 Capacidade de Adaptação	17
2.1.5 Vulnerabilidade	19
2.2 METODOLOGIA DESLIZAMENTO	20
2.2.1 Sensibilidade	20
2.2.2 Exposição	20
2.2.3 Impacto Potencial	21
2.3 METODOLOGIA DENGUE	22
2.3.1 Exposição	23
2.3.2 Sensibilidade	30
2.3.3 Capacidade de adaptação	32
2.3.4 Vulnerabilidade	33
2.4 METODOLOGIA GEODEMOGRÁFICO	33
1. METODOLOGIA GEODEMOGRÁFICO	33
2.4.1 Sensibilidade	33
2.4.2 Exposição	34
2.4.3 Impacto Potencial	34
2.4.4 Capacidade de Adaptação	36
2.4.5 Vulnerabilidade	36
3. APÊNDICE C	37
3.1 TABELAS INUNDAÇÃO	37

1. APÊNDICE A

1.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

1.1.1 Introdução

Uma das maiores preocupações decorrentes das mudanças climáticas são seus efeitos potenciais em relação aos recursos hídricos. De acordo com Tucci (2007), a variabilidade hidrológica é compreendida como alterações que possam ocorrer na entrada e na saída dos sistemas hidrológicos, sendo as principais entradas precipitação e evapotranspiração e, como saída, a vazão. Assim, a variabilidade hidrológica está diretamente relacionada à variabilidade climática, principalmente aos extremos (frequência e intensidade) de precipitação que podem causar inundações ou secas. Outros fatores também contribuem para as alterações nos processos hidrológicos, como a modificação no uso do solo e na dinâmica dos sistemas hídricos de uma determinada bacia, podendo induzir a riscos ambientais, sociais e econômicos.

Nesse contexto, a demanda pelos recursos hídricos ocupa um lugar especial na discussão em torno da sua disponibilidade no futuro. De fato, a disponibilidade hídrica é um dos recursos naturais mais relevantes para o desenvolvimento social e econômico, tornando-se a água, indispensável em suas diversas aplicações. No entanto, a utilização cada vez maior desses recursos, muitas vezes sem o devido gerenciamento, tem resultado em diferentes problemas e até mesmo em conflitos. Para se entender de forma efetiva determinada bacia, torna-se necessário o conhecimento da sua disponibilidade de água para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis, diante das demandas desejadas, sejam elas pontuais ou de políticas públicas.

Em Belo Horizonte, o principal sistema integrado de abastecimento é do Rio das Velhas, com capacidade instalada de 9,0 m³/s abastecendo 74% da cidade de Belo Horizonte, além das cidades de Raposos, Nova Lima, Sabará e Santa Luzia (PDRH Rio das Velhas, 2015). Assim, o objetivo desta análise foi calcular a vazão para este sistema, a partir do modelo robusto MGB-IPH de simulação chuva-vazão, diante das mudanças climáticas até o ano de 2030. Optou-se somente pela análise deste sistema de abastecimento, uma vez que a análise da disponibilidade hídrica, não era finalidade para análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas de Belo Horizonte, descrita no escopo deste projeto.

1.1.2 Dados

Abaixo segue a Tabela 1 com os dados de entrada utilizados para a modelagem da disponibilidade hídrica (vazão simulada) para a bacia do Alto Velhas.

Tabela 1: Dados de entrada do sub-modelo de disponibilidade hídrica.

SENSIBILIDADE			
Descrição	Fonte	Escala Espacial	Escala Temporal
Topografia (MDE)	TopoData-INPE	Resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90m) e resolução vertical de 1m	2008
Uso do solo	CBH-VELHAS	1 : 25.000	2014
Tipo de solo	EMBRAPA	1 : 5.000.000	2011
EXPOSIÇÃO CLIMÁTICA			
Descrição	Fonte	Escala Espacial	Escala Temporal
Precipitação (mm/dia)	INPE	5 km	2011-2030
Vazão observada (m ³ /seg)	ANA	x	Série histórica
Dados climatológicos	MGB-IPH	x	Série histórica

1.1.3 Metodologia

De modo a se obter a avaliação da disponibilidade hídrica superficial na bacia do alto Rio das Velhas até o ano de 2030, diante as mudanças climáticas, foi realizada uma simulação da vazão a partir do modelo MGB-IPH¹. O modelo MGB-IPH é um modelo matemático distribuído, desenvolvido para simular o funcionamento hidrológico de uma bacia, particularmente, os processos de transformação de chuva em escoamento e propagação de vazão ao longo dos rios, descrevendo a distribuição espacial dos processos hidrológicos e a influência da cobertura do solo (COLLISCHONN; TUCCI, 2001). Trata-se de um modelo hidrológico que realiza a discretização da bacia hidrográfica a ser representada em pequenas unidades irregulares denominadas mini bacias, definidas a partir de dados do relevo de um Modelo Digital de Elevação (MDE) (BAYER e COLLISCHONN, 2013). Cada uma

¹ O modelo MGB-IPH foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

das mini bacias é dividida ainda em diferentes Unidades de Resposta Hidrológica (URH), definidas com base entre a combinação dos tipos e usos do solo. As mini bacias são atribuídas informações como: URH a que estão associadas, dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos, além de outras informações de parâmetros hidrológicos e de vegetação, adotados para calibração, baseados em valores de referência já utilizados. A variabilidade espacial da precipitação é considerada através da interpolação dos dados dos postos pluviométricos para cada uma das células. O intervalo de tempo de cálculo é diário.

Os parâmetros hidrológicos mais significativos no modelo são o W_m , que diz respeito a capacidade de absorção de água da chuva no solo gerando pouco ou nenhum escoamento superficial e o K_{bas} que está relacionado ao controle de vazão durante o período de estiagem. A evapotranspiração é estimada através do método de Penman – Monteith. Os parâmetros adotados para calibrar a vegetação estão relacionados ao Índice de Área Foliar (IAF), resistência superficial, albedo e altura. Em resumo, os principais resultados apresentados no MGB-IPH para cada mini bacia são: vazão, a interceptação; o balanço de água no solo; a evapotranspiração; os escoamentos superficiais nas mini bacias e o escoamento na rede de drenagem.

Ainda que alguns dos processos envolvidos no MGB sejam representados de forma conceitual, o modelo conta com uma forte base física, o que fortalece a relação entre os parâmetros e as características físicas da bacia (da SILVA, COLLISCHONN e TUCCI, 2014).

Em relação aos dados de precipitação utilizado, foram recebidos arquivos brutos do *downscaling* em formato de texto (.txt) contendo os dados de simulação e projeções climáticas do modelo regional Eta aninhado ao modelo global HadGEM2-ES, na resolução horizontal de 5 km, considerando o cenário RCP8.5 até o ano de 2030, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados de modelagens climáticas gerados pelo INPE foram tratados e convertidos para o formato Raster (.tif). Realizou-se a análise estatística dos dados, a fim de se obter valores absolutos diários de precipitação. Assim, tratou-se cada pixel como uma “estação pluviométrica”, considerando o formato de entrada específica utilizado do MGB-IPH.

Os dados de vazão utilizados referem-se a série histórica dos postos pluviométricos: Itabirito Linigrafo (latitude $-20^{\circ}18'04''$ / longitude $-43^{\circ}47'53''$) e Fazenda Água Limpa Jusante (latitude $-20^{\circ}18'19''$ / longitude $-43^{\circ}36'59''$), ambos operados pela CPRM e de

responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram escolhidos somente estes postos, pois dentre os dados disponível no portal HIDROWEB (ANA), os mesmos apresentavam dados mais atualizados, utilizados para calibração do modelo.

Em relação aos dados climatológicos, foram utilizados dados de estações que compõe o banco de dados interno do próprio modelo, levando em consideração as médias mensais climatológicas dos elementos: temperatura, umidade, isolamento, vento e pressão. A Figura 1 apresentar o diagrama de modelagem da disponibilidade hídrica.

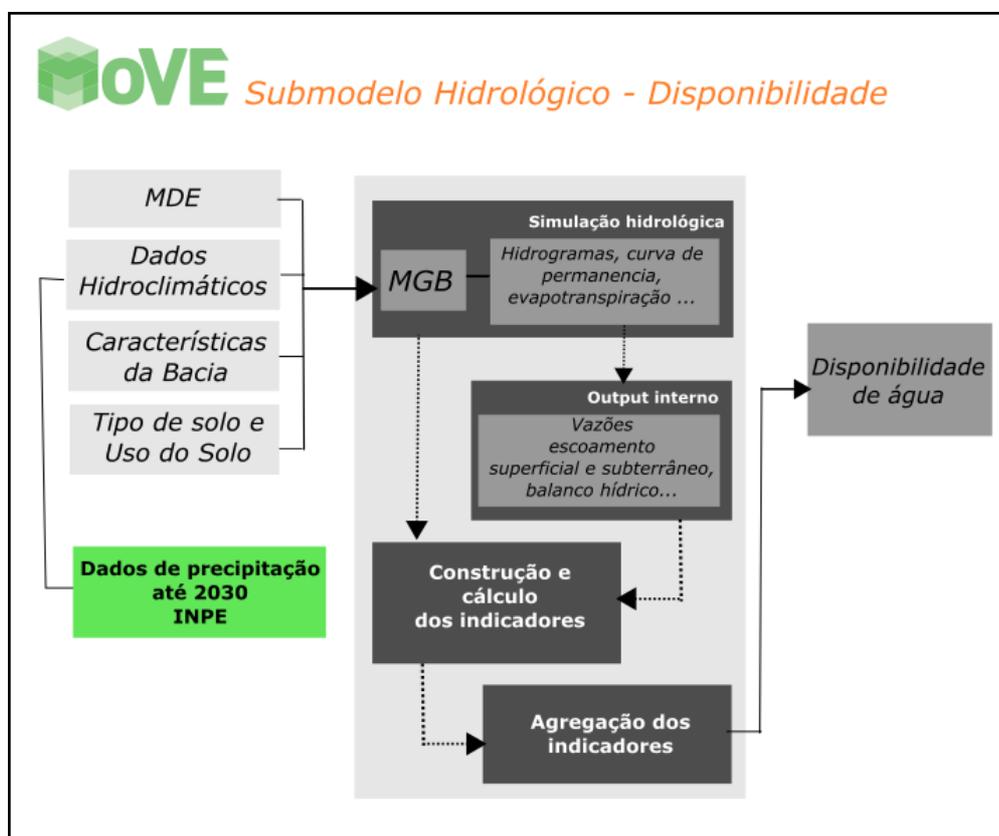


Figura 1 - Fluxograma do modelo de disponibilidade hídrica.

1.1.4 Resultado

O Gráfico 1 abaixo, apresenta a vazão anual média simulada para o Sistema Rio das Velhas até o ano de 2030. Foi realizada uma média aritmética simples dos dados simulados.

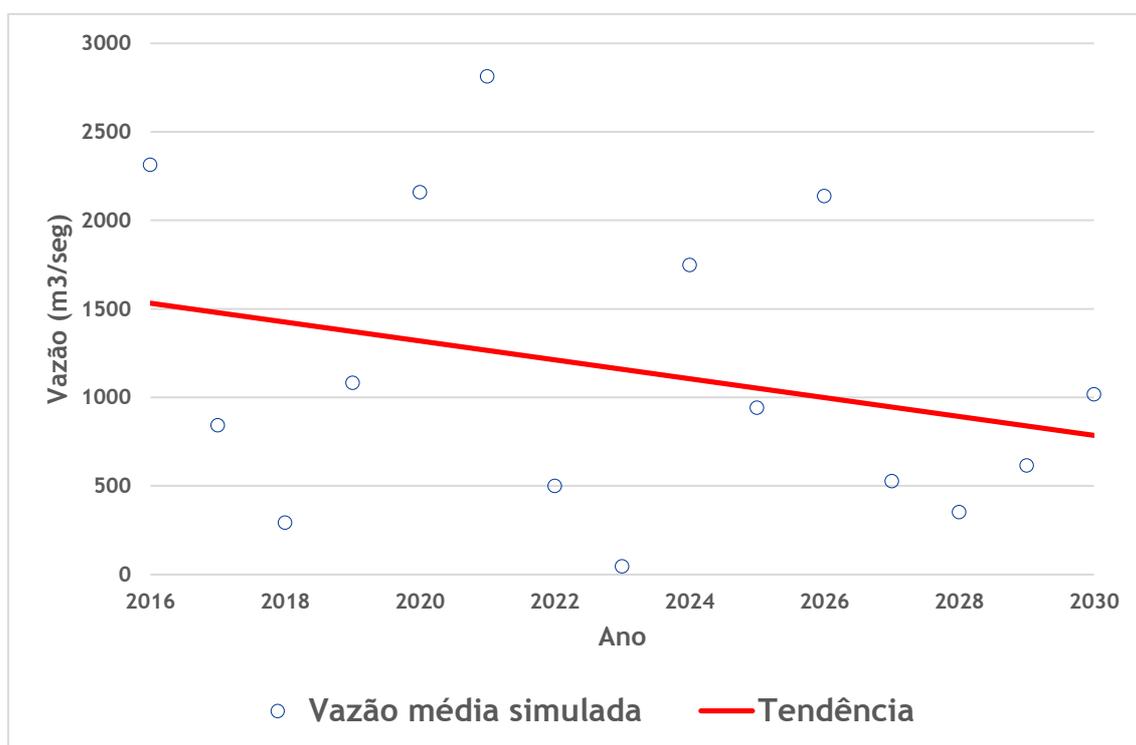


Gráfico 1: Vazão média anual simulada (m³/seg) e linha tendência na Bacia do Alto Rio das Velhas.

1.1.5 Discussão

O resultado da simulação a partir do modelo MGB-IPH que relaciona chuva e vazão mostra que a tendência, de modo geral, é a diminuição da vazão média (m³/seg) até o ano de 2030, apontando uma variação relativa de aproximadamente -56%. Tal tendência está associada diretamente a diminuição da precipitação na região de análise.

Ao analisar separadamente os anos, observa-se uma elevação na vazão no ano de 2021 em relação ao ano atual, relacionada ao aumento de precipitação previsto para este período. No entanto, para os dois anos seguintes (2022 e 2023) percebe-se uma drástica diminuição na vazão, que de acordo com os dados simulados é compensada nos dois anos seguintes. De 2026 até 2030, também há uma queda significativa na vazão média anual.

Vale ressaltar, que o resultado é baseado em dados simulados a partir da precipitação prevista para os cenários de mudanças climáticas 2, considerando as incertezas existentes e excluído a alteração no uso do solo. Além disso, não foi realizada a relação com o aumento da demanda do limite outorgável, (com base na vazão de referência atual da Q7,10 de 22,2 m³/seg para o sistema), que de acordo com o PDRH do Rio das Velhas irá aumentar de forma significativa até o ano de 2030. Cabe uma sugestão futura de novas análises.

1.1.6 Referências

COLLISCHONN, Walter. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DA SILVA, Benedito C.; TUCCI, Carlos EM; COLLISCHONN, Walter. Previsão de vazão de longo prazo na bacia do Rio São Francisco II. Ajuste do modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 13p. Submetido, 2005.**

Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas 2015: Resumo Executivo. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Belo Horizonte, 2015.

TUCCI, Carlos EM. Mudanças climáticas e impactos sobre os recursos hídricos no Brasil. **Ciência & Ambiente, Santa Maria, RS, n. 34, p. 137-156, 2007.**

² Foi considerado somente o cenário RCP 8.5, considerado pessimista, de acordo com referências do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC

2. APÊNDICE B

2.1 METODOLOGIA INUNDAÇÃO

2.1.1 Sensibilidade

As informações referentes à sensibilidade física dos ambientes a inundações foram produzidas a partir do cruzamento de indicadores que quantificam as características de relevo e demográficas associados à susceptibilidade a ocorrência de inundações.

Nesse sentido, três indicadores foram tratados e produzidos para ser empregados no modelo de sensibilidade a inundações, a saber: Indicador Morfométrico de Susceptibilidade à Ocorrência de Inundações; Predisposição à Ocorrência de Inundações; e Índice de Drenagem Urbana.

O indicador Morfométrico de Susceptibilidade à Ocorrência de Inundações expressa a sensibilidade dos ambientes de serem atingidos pelo extravasamento das águas dos cursos d'água para suas planícies de inundações. Para o cálculo deste indicador foram elaborados mapas de parâmetros morfométricos, a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) (formato raster), na resolução espacial de 5 metros. O MDE, por sua vez, foi elaborado a partir da base de curvas de nível equidistantes de 1 metro cedida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA).

Os parâmetros morfométricos mapeados a partir do MDE foram:

- Ordem dos cursos d'água;
- Declividade;
- Distância horizontal em relação aos cursos d'água;
- Distância vertical em relação aos cursos d'água.

A Figura 2 apresenta o fluxograma com a representação esquemática para elaboração do Indicador Morfométrico de Susceptibilidade a Inundações.

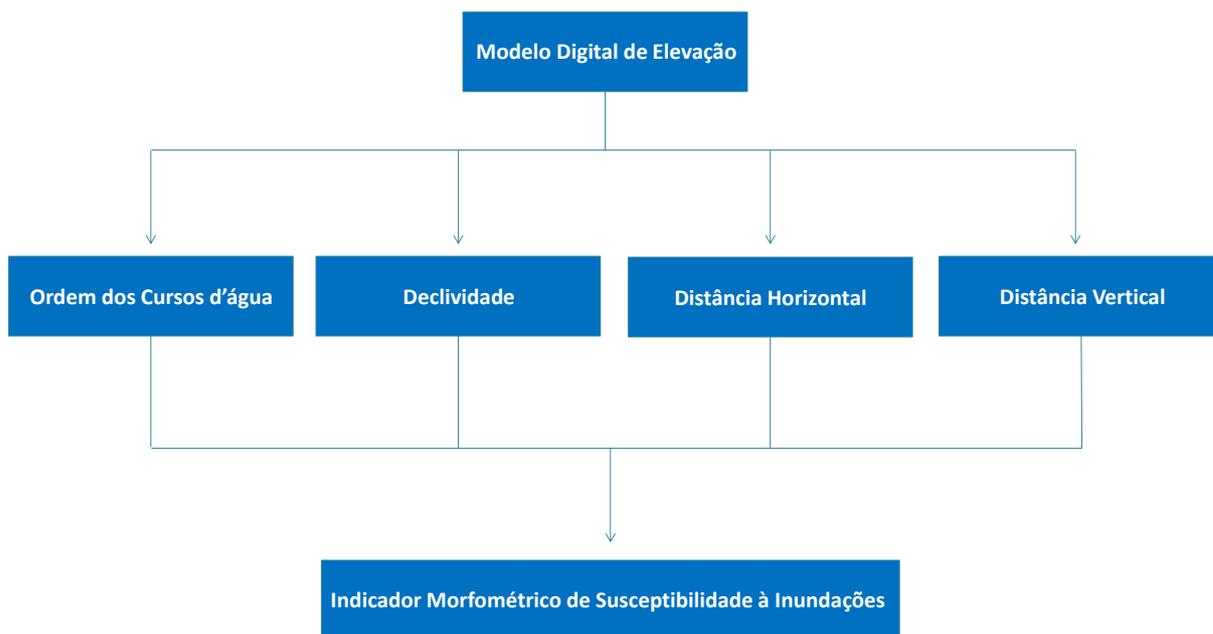


Figura 2 - Esquema metodológico para elaboração do Indicador Morfométrico de Susceptibilidade à Inundações.

A Predisposição à Ocorrência de Inundações é um indicador que foi cedido pela Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano, e apresenta a gradação da intensidade da predisposição geológica a inundações (referente a áreas ocupadas), conforme a susceptibilidade do mesmo à ocorrência de inundações.

O Índice de Drenagem Urbana é uma informação do Plano Municipal de Saneamento de BH (2014), que procura avaliar o sistema de macrodrenagem natural e construído, através do cruzamento das manchas da Carta de Inundações e das “Manchas Faladas” com a população inserida nas mesmas, refletindo o percentual da população residente em áreas inundáveis.

A Figura 3 apresenta o esquema metodológico para elaboração do Modelo de Sensibilidade a Inundações.



Figura 3 - Esquema metodológico para elaboração do Modelo de Sensibilidade a Inundações.

2.1.2 Exposição

A exposição se refere à susceptibilidade das sub-bacias hidrográficas de Belo Horizonte frente a variáveis climáticas que o expressem a maior ou menor propensão a eventos de inundação dos cursos d'água.

Para a análise de exposição referente ao período de dados atual (1961 - 2005) foram tabulados dados de precipitações máximas dos dados de registros históricos de precipitação do INPE.

A exposição às mudanças climáticas (2011 - 2030) foi determinada a partir do tratamento de informações da modelagem numérica das projeções de mudanças climáticas do INPE, Os dados de precipitações máximas de estações climáticas do município de Belo Horizonte, operadas pelo INMET, foram tabulados e sistematizados, a fim de calibrar as informações do modelo de simulação a mudanças climáticas do INPE (*Statistical Downscaling*).

De posse das informações das máximas de precipitação, para período histórico e de simulação climática, foram feitas análises estatísticas de frequência de eventos extremos de chuva segundo períodos de retorno para diferentes áreas do território municipal,

através da construção de curvas de intensidade – duração – frequência (Curvas IDF) segundo a distribuição de valores extremos do tipo Gumbel (Chow et al, 1988).

As informações de chuvas referenciais para macrodrenagem disponibilizadas no estudo da Carta de Inundações de Belo Horizonte (2007), foram tratadas, apresentando como resultado níveis de chuva (mm) associados aos alertas de emergência para eventos de 1 hora de duração sido tabulados segundo as sub-bacias hidrográficas municipais.

Por fim, com o cruzamento das informações sobre tempo de retorno das chuvas e dos níveis de chuva (mm) em situações de alerta de emergência para eventos de 1 hora de duração, foram produzidas informações da probabilidade de excedência de eventos de inundação ao longo das sub-bacias hidrográficas de Belo Horizonte, para período histórico e de simulação climática, formando, assim, o mapeamento de exposição climática.

A Figura 4 apresenta o esquema metodológico para elaboração do Modelo de Exposição a Inundações.

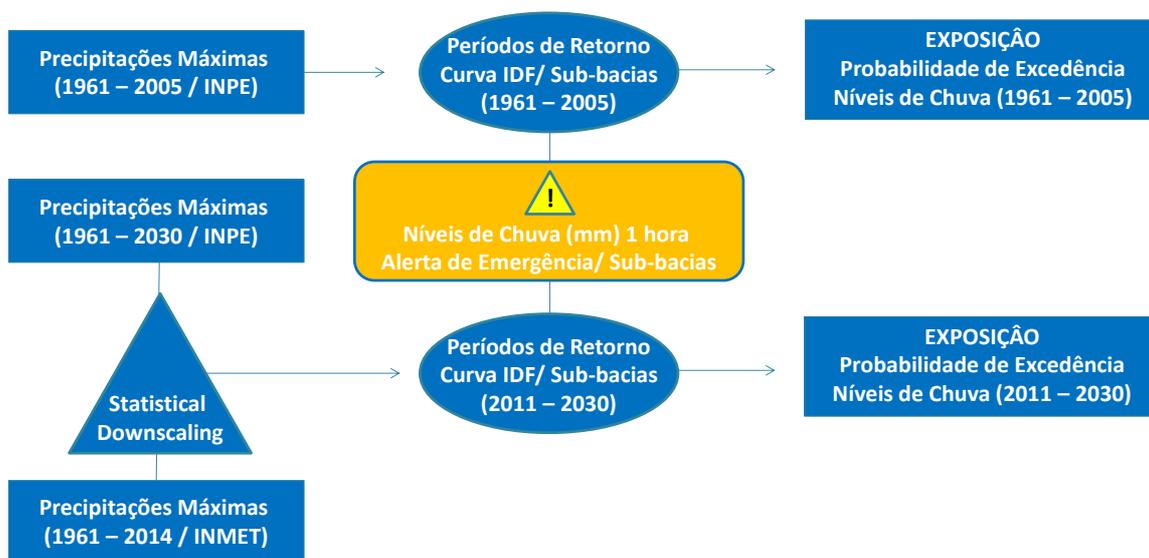


Figura 4 - Esquema metodológico para elaboração do Modelo de Exposição a Inundações.

2.1.3 Impacto Potencial

Os mapas de impacto potencial de inundação foram produzidos a partir do cruzamento de informações referentes à sensibilidade e à exposição desses ambientes às variáveis climáticas que os tornam mais susceptíveis.

Foram realizadas médias ponderadas entre o modelo de sensibilidade e os modelos de exposição referentes a dois períodos: Um com a exposição climática elaborada a partir de dados observados (1961 - 2005), correspondendo aos impactos potenciais atualmente vigentes; e outro com informações de exposição oriundas das simulações de mudanças climáticas (2011 - 2030). Portanto, foram produzidos mapeamentos de impacto potencial a inundações para os dois períodos de análise.

A modelagem de impacto potencial a inundações passou por uma etapa de validação com dados de ocorrência à inundações cedidos pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Foram coletadas 100 amostras de registros de inundação, de acordo com a proporção de ocorrências dentre as nove regionais administrativas municipais. Das 100 amostras coletadas e disponibilizadas pela Defesa Civil de Belo Horizonte, entre o período de Fevereiro de 2009 a Janeiro de 2016, 72 situam-se dentro dos limites das sub-bacias hidrográficas que apresentaram valores de impacto potencial acima da média geral, demonstrando, assim a validade do modelo desenvolvido.

2.1.4 Capacidade de Adaptação

A capacidade de adaptação expressa, por meio de informações sócio-econômicas, infra estruturais, sistemas de alerta, e investimentos, a resiliência do município de Belo Horizonte frente à impactos potenciais de inundação.

O mapeamento da capacidade de adaptação foi feito para dois momentos temporais (2015 e 2030) a partir do cruzamento de cinco indicadores, que foram tratados e produzidos: Percentual da População em Vilas em Relação à População Total da Sub-bacia; População de Baixa Renda; Núcleos de Alerta de Chuva; Empreendimentos para Redução de Inundações; e Reservatórios para Controle de Cheias.

O Percentual da População em Vilas em Relação à População Total da Sub-bacia é um indicador produzido no âmbito do Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte

(2014). Esse indicador expressa a maior ou menor capacidade de adaptação à inundações, pois moradores de áreas informais são menos dotados de condições infraestruturas para reagir e se recuperar frente a eventos de inundação.

A População de Baixa Renda é um indicador que foi produzido a partir das informações de setores censitários do município de Belo Horizonte, referente ao número de pessoas com rendimento nominal mensal máximo de um salário mínimo. A utilização desse indicador se associa à necessidade de compreensão do quanto uma determinada área é composta por pessoas com faixas de renda mensal muito baixas, aquelas que teriam a maior dificuldade e menor potencial de recuperação econômica diante de possíveis danos e perdas advindos de eventos de inundação.

Os Núcleos de Alerta de Chuva (NAC) são formados por comissões de moradores e pessoas que residem ou trabalham em áreas com risco de inundação, identificadas pela Carta de Inundações. O objetivo é alertar, monitorar e orientar famílias que se encontram nestas áreas em caso de chuvas fortes. Para a produção do indicador de Núcleos de Alerta de Chuva de Belo Horizonte os pontos do núcleos foram georreferenciados, sendo analisadas a distribuição dos referidos pontos ao longo das Bacias Hidrográficas do município.

Os Empreendimentos para Redução de Inundações representam a instalação de obras pra aprimorar a infraestrutura de macrodrenagem e microdrenagem, além de atividades de mobilização, incluindo a realocação de famílias em situação de risco de inundação. De modo a modelar os benefícios oriundos de investimentos em curso e futuros em capacidade de adaptação para redução de inundações, foi elaborado um indicador a partir de dados de empreendimentos em andamento, empreendimentos previstos e empreendimentos com projetos em andamento. Deste modo, foram elaborados dois indicadores, um para análise de Capacidade de Adaptação associada a Empreendimentos para Redução de Inundações no momento atual (2015) e outro para uma situação futura (2030).

Os Reservatórios para Controle de Cheias são estruturas que funcionam para detenção ou retenção de água e têm finalidade de reduzir o efeito das enchentes em áreas urbanas. Sua atuação na bacia hidrológica de uma região, redistribuindo os escoamentos no tempo e no espaço, permite recuperar, em parte, as características de armazenagem dessa bacia. A fim de avaliar os benefícios oriundos de investimentos em curso e futuros em capacidade de adaptação para redução de inundações, foi elaborado um indicador a partir de dados de

reservatórios para Controle de Cheias em construção ou a construir. Deste modo, foram elaborados dois indicadores, um para análise de Capacidade de Adaptação associada a Reservatórios para Controle de Cheias no momento atual (2015) e outro para uma situação futura (2030).

A Figura 5 apresenta o esquema metodológico para elaboração do Indicador de Capacidade de Adaptação a Inundações

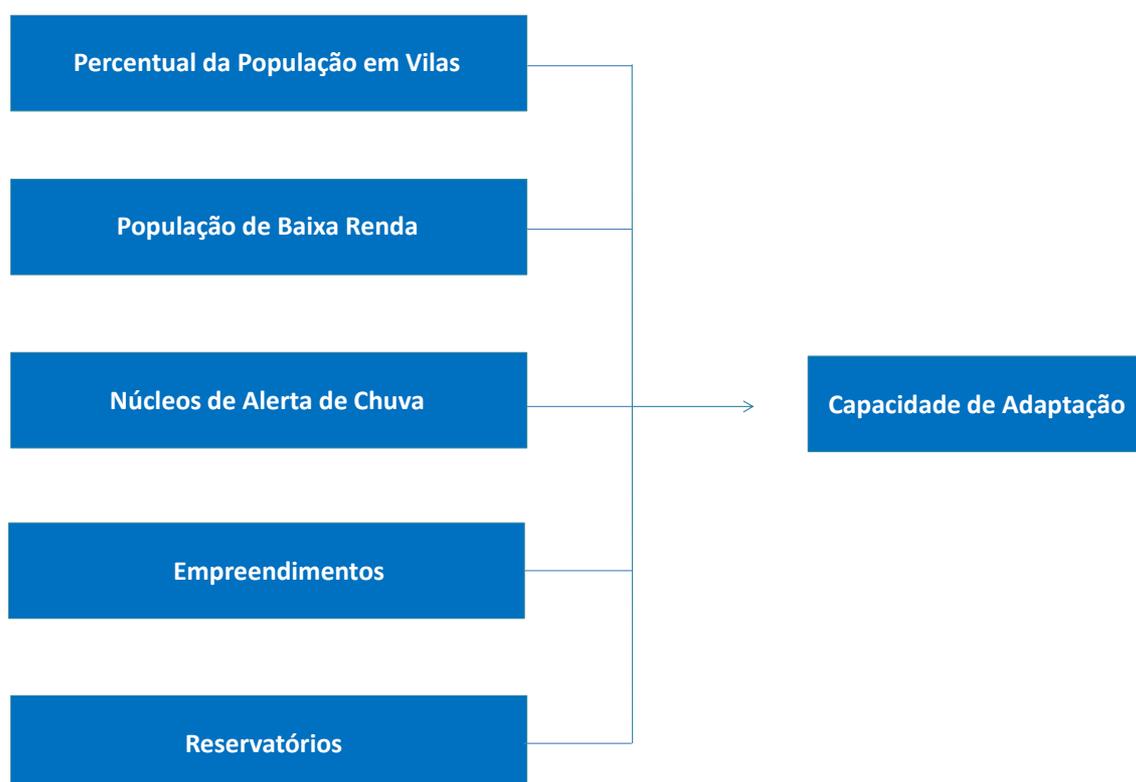


Figura 5 - Esquema metodológico para elaboração do Modelo de Capacidade de Adaptação a Inundações.

2.1.5 Vulnerabilidade

Os mapas de vulnerabilidade à inundações foram produzidos a partir do cruzamento de informações referidas aos impactos potenciais e à capacidade de adaptação de diferentes porções do município de Belo Horizonte à eventos de inundações.

Foram realizadas médias ponderadas entre o modelo de capacidade de adaptação e os modelos de impacto potencial de dois períodos: Um elaborado a partir de dados

observados (1961 - 2005), correspondendo aos impactos potenciais atualmente vigentes; e outro com informações das simulações de mudanças climáticas (2011 - 2030). Uma terceira modelagem foi elaborada contendo informações das simulações de mudanças climáticas (2011 - 2030) combinadas com mapa de Capacidade de Adaptação de 2030.

Portanto, foram produzidos mapeamentos de vulnerabilidade a inundações para dois períodos temporais de análise, com e sem o incremento de novas medidas de adaptação.

2.2 METODOLOGIA DESLIZAMENTO

2.2.1 Sensibilidade

Os componentes de sensibilidade física associados aos deslizamentos avaliados foram declividade, litologia e uso e cobertura do solo. A declividade foi obtida através da interpolação da curva de nível no software Arcgis® e classificada conforme o trabalho de Binda e Bertotti (2007) onde o peso imposto a cada classe é maior conforme a declividade aumenta. O procedimento de tratamento da informação referente a geologia foi ponderado seguindo o trabalho de Crepani et al. (2001) onde a susceptibilidade das tipologias de rocha foi classificada segundo sua resistência ao intemperismo. O último fator de sensibilidade calibrado foi o uso e cobertura do solo, ele foi classificado de acordo a publicação de Canavesi et al. (2013).

2.2.2 Exposição

A exposição adveio do tratamento das informações de precipitação do INPE, onde foram determinados o número de eventos anuais em que a precipitação acumulada em dois dias ultrapassou 70mm, no ano de 2014 e para o ano 2030. Esta variável foi nomeada de R70freq2day. O limite de milímetros precipitados e o número de dias foram determinados através da metodologia de alerta adotada pela Defesa Civil de Belo Horizonte.

2.2.3 Impacto Potencial

A sensibilidade e a exposição foram normalizadas com base na série de dados utilizados. Em seguida foram atribuídos pesos para cada parâmetro que compõe o indicador, e por fim cruzados. Assim, o fator declividade recebeu peso 0,4 e os demais receberam peso 0,2.

A seleção dos pesos atribuídos ao parâmetro que compõem o indicador de susceptibilidade a deslizamento justifica-se segundo a forma em que se buscou compreender o impacto na escala do projeto, levando em consideração a correspondência entre os dados modelados e observados. Neste contexto, foi estabelecido que a variável declividade seja a que exerce maior influência no deslizamento, uma vez que, caso não existisse a ação da gravidade no fenômeno, o mesmo não iria reunir os elementos suficientes para ocorrer.

A Figura 6 apresenta o diagrama de modelagem do deslizamento.

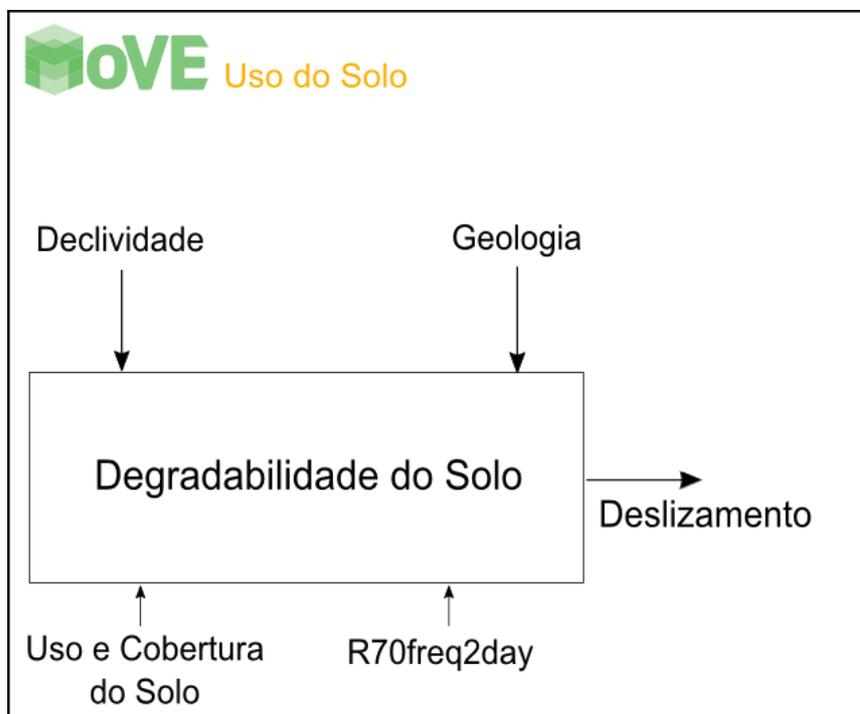


Figura 6 - Esquema teórico do submodelo de deslizamento.

Vale ressaltar que a Prefeitura de Belo Horizonte dispõe de estudos pertinentes ao tema, nomeadamente, Diagnóstico da Situação de Risco Geológico das Vilas, Favelas e Conjuntos Habitacionais de Belo Horizonte e o Mapa de Risco Geologia de Belo Horizonte. Porém, a escala e a forma de abstração dos fatores neste estudo, não consideraram os fatores climáticos.

A validação do modelo se deu através aplicação de ferramentas do Google Maps e Arcgis aliadas a registros de eventos de deslizamento disponibilizados pela Defesa Civil e eventos que repercutiram na cidade, como o do Buritis. O fluxograma abaixo apresenta as etapas de validação manual. (Figura 7).

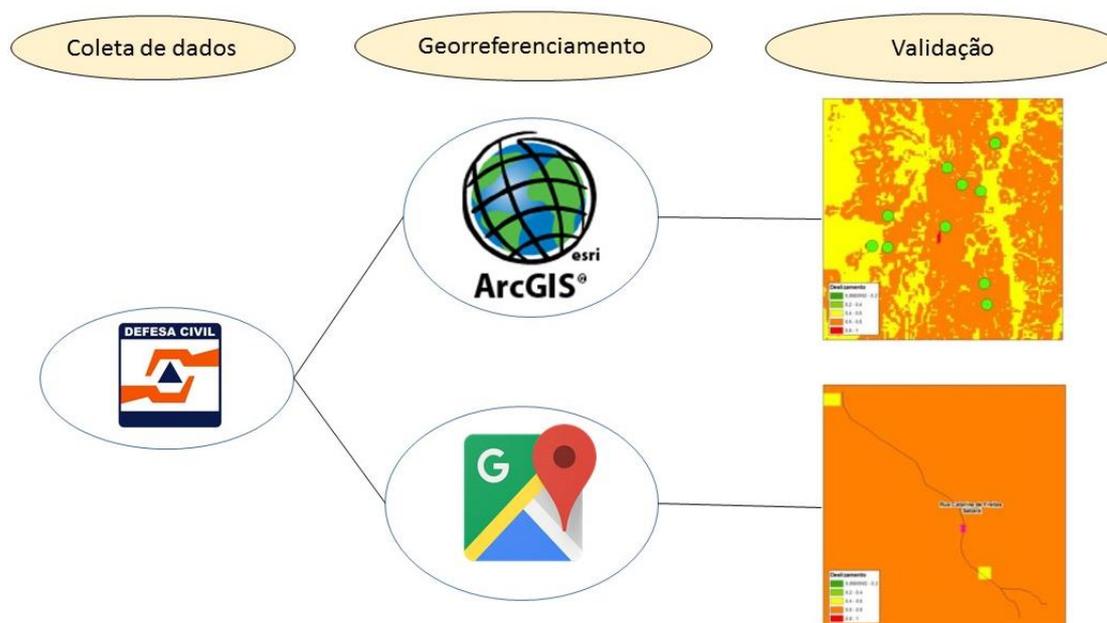


Figura 7 - Fluxograma de validação manual do modelo.

2.3 METODOLOGIA DENGUE

A vulnerabilidade à dengue devido às mudanças climáticas no município de Belo Horizonte foi estimada através de um modelo que combina os parâmetros de exposição climática, sensibilidade socioambiental e capacidade de adaptação. Esses parâmetros foram pré-processados e harmonizados de acordo com a área de estudo, formato dos arquivos de entrada e as escalas de trabalho. Após a harmonização, os dados foram utilizados como

entrada para o modelo que processa os indicadores, gerando como saída uma estimativa projetada da distribuição dessa vulnerabilidade.

De forma geral, o modelo de projeção da distribuição do impacto potencial à dengue se constitui a partir das relações geoestatísticas entre a distribuição das exposições e extremos climáticos observadas nos períodos de grande infestação, os dados que indicam a ocorrência do vetor no território e a variabilidade espacial da sensibilidade socioambiental. Dessa forma, é possível elaborar uma representação do impacto potencial da dengue de acordo com as alterações do clima, pela inclusão de dados de exposição futuros. O resultado da vulnerabilidade climática à dengue é apresentada por meio de um índice composto normalizado (variando de 0 à 1) apontando a propensão da região ao dano causado pela virose de acordo com as alterações no clima. Quanto mais próximo o índice estiver de 1, maior a susceptibilidade da região.

2.3.1 Exposição

A definição do indicador de exposição climática para a constituição deste impacto potencial foi estabelecida a partir da combinação de cinco indicadores e alimentados pelos dados presentes na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Dados de entrada de exposição climática para o modelo de impacto potencial sobre a distribuição de dengue no município de Belo Horizonte.

EXPOSIÇÃO CLIMÁTICA			
Descrição	Fonte	Escala Espacial	Escala Temporal
Precipitação (mm/dia)	INPE ³	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Diária
Temperatura Média(°C)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Diária
Temperatura Mínima(°C)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Diária
Temperatura Máxima(°C)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Diária
Umidade relativa do ar (%)	INPE	Região Sudeste	2016-2030

³ INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

		5 km	Diária
Precipitação intensa (R10mm)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Anual
Sequência de dias secos (CDD)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Anual
Precipitação intensa (R10mm)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Anual
Noites quentes (TN90p)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Anual
Ondas de calor (WSDI)	INPE	Região Sudeste 5 km	2016-2030 Anual

O primeiro indicador apresenta a probabilidade de ocorrência gerada pelo algoritmo MAXENT⁴; o segundo informa sobre o número provável de gerações do vetor de acordo com limites de temperatura; o terceiro indicador define o potencial de transmissão, também relacionado aos dados de temperatura; o quarto projeta a positividade para eclosão de ovos, associados a precipitação, temperatura e umidade relativa do ar; e o quinto indicador é conhecido como Índice de Susceptibilidade Geral (ISG), uma metodologia para avaliação quantitativa da susceptibilidade.

Os dados de casos confirmados de dengue no município, bem como o monitoramento das Ovitampas (armadilha de ovos de insetos), fornecidos pela Secretaria Municipal da Saúde de Belo Horizonte foram utilizados como base para a definição de pontos de ocorrência e distribuição do vetor em Belo Horizonte. Apesar do mosquito ser responsável pela transmissão do ZIKA vírus, da febre chikungunya e da febre amarela, os casos confirmados de dengue foram escolhidos, por essa ser a doença de maior relevância e com maior série histórica de dados. De posse dessa informação, esses dados de ocorrência juntamente com dados climáticos alimentaram o algoritmo MAXENT para gerar o primeiro indicador que resultou em uma projeção de probabilidade de ocorrência do vetor.

As projeções foram feitas pela abordagem do modelo de Máxima Entropia ou MAXENT (PHILLIPS et al., 2004). O conceito de entropia de Shannon refere-se à incerteza de uma distribuição de probabilidade. O MAXENT é um algoritmo que busca calcular e minimizar essa incerteza, encontrando a distribuição futura mais próxima da distribuição uniforme

⁴ Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, pages 655-662, 2004.

real, baseado nas restrições das variáveis ambientais disponíveis. O algoritmo busca essa nova distribuição, através da minimização de uma medida de divergência entre ambas, dado o mesmo conjunto de restrições. Para isso, dados de ocorrências reais do vetor, bem como variáveis ambientais históricas alimentam o modelo como forma de calibração e definição de conjunto de restrições. Posteriormente essas restrições definidas pelo algoritmo MAXENT serão utilizadas para referenciar a probabilidade da potencial ocorrência do vetor em relação as restrições identificadas nas distribuições espaciais das variáveis climáticas futuras.

Portanto, os dados de entrada para o modelo foram: ocorrência de *Aedes aegypti*, exposição e extremos climáticos históricos para calibração e futuros para a geração das projeções de potenciais distribuições. Os dados de exposição climática históricos e projetados para o futuro foram: precipitação (mm.dia^{-1}); temperatura mínima, média e máxima ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa do ar (%) e os índices de extremos climáticos: sequência de dias secos (CDD); precipitação intensa (R10mm); noites quentes (TN90p); ondas de calor (WSDI) apresentados em formato raster na extensão .asc. Mais especificamente os dados de ocorrência entram no modelo em formato tabular .csv contendo as coordenadas geográficas identificadas por latitude e longitude. Cada dado resultante dessa análise indica a distribuição potencial do inseto de acordo com as condições climáticas futuras, identificando as regiões de maior probabilidade de ocorrência.

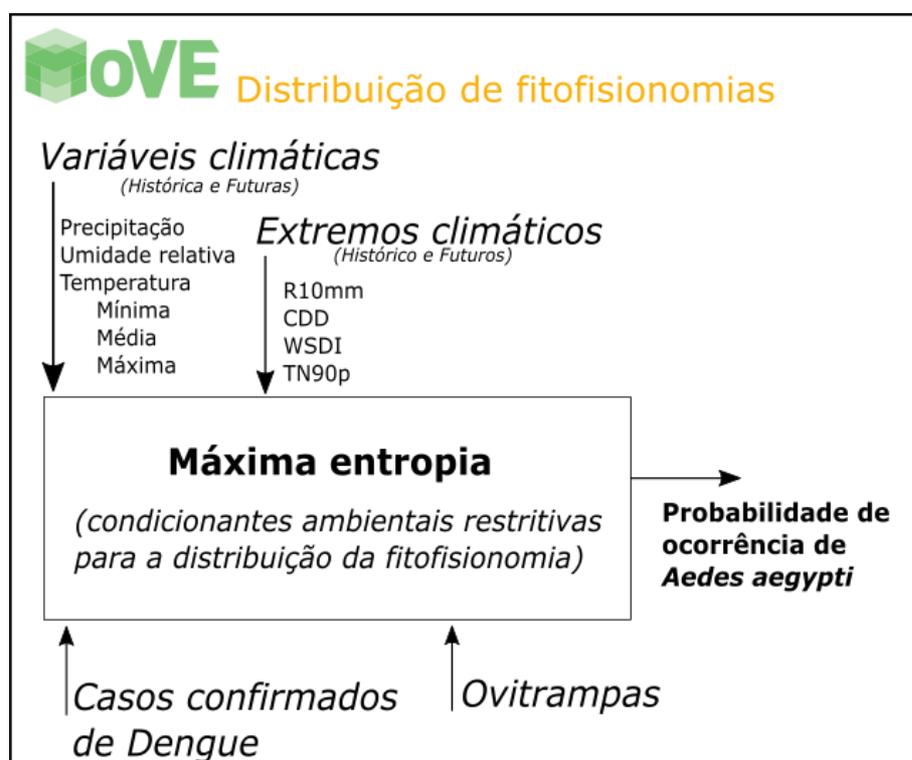


Figura 8 - Representação esquemática do submodelo MAXENT para a distribuição de vetores de doenças.

Considerando que a temperatura é um dos principais fatores que regem a dinâmica de populações de insetos, foi adotado o método para a estimativa do número de gerações dos mosquitos com base nas constantes térmicas para as diferentes fases de seus ciclos biológicos como segundo indicador. Nesse indicador, os dados de média de temperatura do ar mensal (T_{med}) entram no modelo para estimar o número provável de gerações que utiliza-se da temperatura base (T_{base}), que é o limite térmico inferior necessário para o desenvolvimento do vetor, e da constante térmica (K), que relaciona a duração do desenvolvimento de qualquer fase em função da temperatura acumulada em grau dia (FERNANDES, 2006), de acordo com a equação abaixo:

$$N^{\circ} \text{de gerações} = N^{\circ} \text{de dias} \frac{(T_{med} - T_{base})}{K}$$

A fim de ponderar a distribuição dos vetores de doenças tropicais pela sua ação foi utilizado um modelo de potencial de transmissão (LAMBRECHTS, 2011) que considera os efeitos das alterações de temperatura sobre os habitats ótimos para proliferação dos vetores aumentando a sua capacidade de ação, bem como as características biofísicas que influenciam na dinâmica da transmissividade e virologia. A seguir observa-se a expressão que representa a susceptibilidade de transmissão como terceiro indicador:

$$P_T = 0.001044T_a \times (T_a - 12.286) \times \sqrt{(32.461 - T_a)}$$

Onde:

P_T = probabilidade de transmissão

T_a = temperatura média anual

Para obtenção do quarto indicador optou-se pelo ajuste de uma equação de regressão linear múltipla (VIANELLO et al., 2006), onde cada parâmetro meteorológico foi tratado como uma variável independente, sendo o percentual de ovitrampas positivas a variável dependente, considerando o número de ocorrências do vetor pela transformação dos casos confirmados de dengue em nuvem de pontos georreferenciados. Portanto, a variável Y_i representa o percentual previsto de ovitrampas positivas, em função da umidade relativa do ar, temperatura média e chuvas acumuladas como demonstra a equação abaixo:

$$Y_i = -162,3230 + 1,3089X1_i + 4,8921X2_i + 0,0436X3_i$$

Onde:

X1 = umidade relativa do ar

X2 = temperatura média

X3 = chuva acumulada

Y_i representa o percentual previsto de ovitrampas positivas

Como quinto indicador foi gerado o Índice de Susceptibilidade Geral (ISG) (BRASIL, 2005), uma metodologia para avaliação quantitativa a partir de índices em duas áreas: epidemiológica e climatológica, considerando também os índices de extremos climáticos.

Trata-se, portanto, de um índice composto que agrega diferentes variáveis e associa a cada localidade uma medida comparativa (valor numérico). Como demonstrado na equação abaixo, o ISG é construído pela média aritmética de dois fatores: o número de ocorrências (I_o) e o índice de susceptibilidade climática (ISC), uma vez que o desenvolvimento da doença é favorecido por determinadas amplitudes de temperaturas

Temos portanto:

$$ISG = \frac{I_o + ISC}{2}$$

No qual o índice sintético de ocorrência, corresponde ao número de ocorrências normalizado como demonstrado a seguir:

$$I_o = \frac{Ocorrência_{observada} - Mínimo_{ocorrência}}{Máximo_{ocorrência} - Mínimo_{ocorrência}}$$

E a avaliação da susceptibilidade climática, traduzida no ISC, tem por objetivo classificar as regiões de acordo com o número (porcentagem) de meses de precipitação extrema, superior ou inferior à média. Em outras palavras, representa a medida de exposição aos impactos.

Para o ISC considerou-se a porcentagem de meses com precipitação extrema normalizado, de acordo com a equação abaixo:

$$ISC = \frac{P_{observada} - Mínimo_p}{Máximo_p - Mínimo_p}$$

Observa-se que, $P_{\text{observada}}$ é o valor da porcentagem de meses com precipitação extrema alta; Mínimo é o menor valor observado da porcentagem de meses com precipitação extrema; Máximo é o maior valor observado da porcentagem de meses com precipitação extrema.

Os indicadores foram cruzados como o mesmo peso por álgebra de mapas através de uma média ponderada e, dessa forma, foi possível elaborar uma representação espacial por meio de um índice normalizado (0-1) de exposição sobre a dengue de acordo com as alterações do clima como representado pelo esquema a seguir (Figura 9).

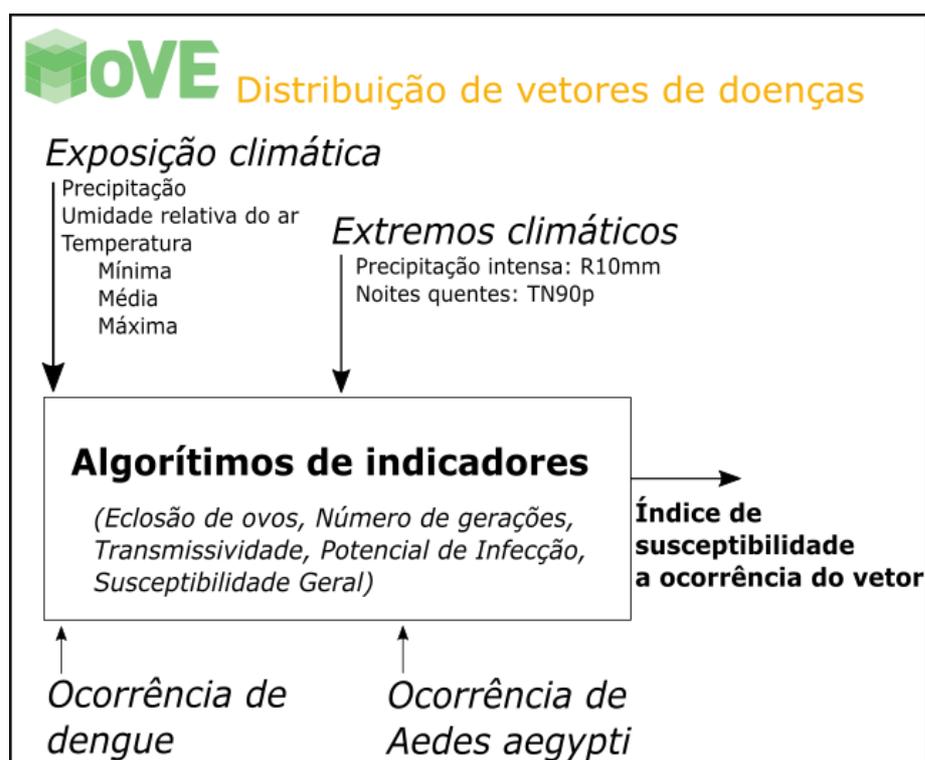


Figura 9 - Representação esquemática do submodelo de distribuição de vetores de doenças.

Os resultados desse modelo foram calibrados por dados do repositório internacional DRYAD e validado por comparação com um estudo da *University of Oxford* (KRAEMER, 2015).

2.3.2 Sensibilidade

Tabela 3, contendo os dados de entrada utilizados para a modelagem do impacto potencial sobre a distribuição de dengue para o município de Belo Horizonte em 2016 e 2030.

Tabela 3: Dados de entrada de sensibilidade socioambiental para o modelo de impacto potencial sobre a distribuição de dengue no município de Belo Horizonte.

SENSIBILIDADE			
Descrição	Fonte	Escala Espacial	Escala Temporal
Casos confirmados de dengue	SMSA ⁵	Belo Horizonte Bairros	2007-2014 Mensal
Ocorrência de <i>Aedes aegypti</i> Ovitrapa	SMSA	Belo Horizonte Bairros	2011-2014 Mensal
Densidade Populacional	SMMA ⁶ SUDECAP ⁷	Belo Horizonte Sub bacias	2014
Tipologia de uso e ocupação	SMAPU ⁸ GGEOP ⁹	Belo Horizonte Lotes do Cadastro Técnico Municipal	2012
População em Vilas (%)	SMMA SUDECAP	Belo Horizonte Sub bacias	2014
População de baixa renda	IBGE ¹⁰	Belo Horizonte Setores Censitários	2010
Lixo jogado em terreno baldio	IBGE	Belo Horizonte Setores Censitários	2010
Domicílio sem abastecimento da água de rede geral	IBGE	Belo Horizonte Setores Censitários	2010
Domicílio com água de chuva armazenada em cisterna	IBGE	Belo Horizonte Setores Censitários	2010
Indicador de cobertura por coleta de lixo domiciliar	SMMA SUDECAP	Belo Horizonte Sub bacias	2014
Indicador de cobertura do sistema de esgotamento sanitário	SMMA SUDECAP	Belo Horizonte Sub bacias	2014
Indicador de abastecimento de água	SMMA SUDECAP	Belo Horizonte Sub bacias	2014

5 SMSA (Secretaria Municipal de Saúde)

6 SMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente)

7 SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital)

8 SMAPU (Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano)

9 GGEOP (Gerência de Geoprocessamento)

10 IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)

As informações referentes à sensibilidade socioambiental à dengue foram produzidas a partir do cruzamento de indicadores que quantifiquem características ambientais, econômicas e demográficas associadas à susceptibilidade a ocorrência de dengue. Nesse sentido, dois indicadores foram tratados e produzidos para serem empregados na modelagem, a saber: Indicador de Saneamento e Indicador de Socioambiental.

O indicador de saneamento expressa a sensibilidade dos ambientes se tornarem criadouro do mosquito *Aedes aegypti* devido a questões sanitárias. Esse indicador é elaborado a partir de uma média ponderada feita entre as seguintes informações: domicílios com lixo jogado em terreno baldio (peso 0,3), indicador por coleta de lixo domiciliar (peso 0,2), domicílio com água de chuva armazenada em cisterna (peso 0,2) e indicador de abastecimento de água (peso 0,3). Essas informações permitem a inferência sobre a condição ideal para proliferação do vetor da dengue de acordo com a formação de criadouros que se dá pela convergência de locais para armazenamento de água limpa.

O segundo indicador foi elaborado a partir do cruzamento de informações que refletem as regiões mais aptas a disseminação da doença de acordo com a tipologia de uso e habitação, densidade populacional e renda. As condições da habitação podem favorecer a presença de focos do mosquito e a densidade populacional sugere a maior predisposição do mosquito infectado entrar em contato com pessoas alvo, condição básica para a explosão da doença. Características de renda foram utilizadas para categorizar uma condição mais precária de vida urbana que acaba por influenciar a disseminação de viroses, como a dengue. Esse indicador socioambiental também foi originado a partir de uma média ponderada dos seguintes dados: tipologia de ocupação (peso 0,3); densidade populacional (peso 0,3); percentual da população em vilas e favelas (peso 0,2); e população de baixa renda (peso 0,2).

Através do cruzamento dos mapas correspondentes aos dois principais indicadores de sensibilidade (saneamento e socioambiental) chegou-se ao indicador final, especializado por setor censitário para o município de Belo Horizonte.

2.3.3 Capacidade de adaptação

A capacidade de adaptação expressa, através de informações sócio-econômicas, infra estruturais, e de investimentos, a resiliência do município de Belo Horizonte diante dos impactos potenciais das mudanças climáticas na distribuição espacial de dengue. A seguir serão descritos na Tabela 4 os dados utilizados para o cálculo do indicador de capacidade de adaptação a dengue.

Tabela 4: Dados de capacidade de adaptação para o modelo de vulnerabilidade à dengue.

CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO			
Descrição	Fonte	Escala Espacial	Escala Temporal
Rendimento Nominal	IBGE	Belo Horizonte Setor Censitário	2010
IQVU Saúde	SMPL ¹¹	Belo Horizonte Unidade de Planejamento	2014

O mapeamento da capacidade de adaptação foi feito apenas para o momento presente, visto que a inferência sobre a execução de planejamentos para a resiliência a dengue, sendo medidas proativas ou reativas, poderia não ser concretizada. Tomando uma decisão conservadora a modelagem foi feita considerando apenas o cenário atual com inação para o futuro, ou seja, não se levou em conta nenhuma medida de adaptação planejada para o município.

O indicador final de capacidade de adaptação foi construído a partir do cruzamento de 2 indicadores, que foram tratados: IQVU Saúde e Rendimento nominal. O Índice de Qualidade de Vida Urbana (IQVU) é um dos instrumentos de planejamento da Prefeitura de Belo Horizonte e possui três características básicas: i) avalia a quantidade e a qualidade da oferta de bens e serviços públicos e privados no espaço intra-urbano; ii) é composto por indicadores passíveis de atualização em um curto intervalo de tempo (anuais ou bienais); e iii) é calculado a partir de informações provenientes dos próprios órgãos municipais e dos prestadores de serviços públicos. Associado as informações de rendimento nominal, o IQVU nos demonstra como a cidade está estruturada para enfrentar a dengue.

¹¹ SMPL (Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Informação)

Locais com maior número de centros de saúde e com maior rendimento nominal indicam que as pessoas estarão mais aptas a reagirem ao impacto potencial da dengue.

2.3.4 Vulnerabilidade

Os mapas de vulnerabilidade à dengue foram produzidos a partir do cruzamento de informações referidas aos impactos potenciais e à capacidade de adaptação de diferentes porções do município de Belo Horizonte à dengue.

Foram realizadas álgebras de mapas entre o modelo de capacidade de adaptação e os modelos de impacto potencial de dois períodos: Um elaborado a partir de dados observados (1961 - 2005), correspondendo aos impactos potenciais atualmente vigentes; e outro com informações das simulações de mudanças climáticas (2011 - 2030). Portanto, foram produzidos mapeamentos de vulnerabilidade a dengue para dois períodos temporais de análise, atual (2016) e futura (2030). Ressalta-se que o único fator alterado entre o presente e o futuro foi a exposição à dengue, por isso foi dada maior relevância no desenvolvimento metodológico desse indicador.

2.4 METODOLOGIA GEODEMOGRÁFICO

1. METODOLOGIA GEODEMOGRÁFICO

2.4.1 Sensibilidade

A sensibilidade para as ondas de calor em Belo Horizonte, definida aqui como aspectos populacionais, está representada pelas populações sensíveis (crianças até 5 anos e idosos acima de 65 anos), densidade populacional e população de baixa renda (pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de mais de meio a um salário mínimo). Todos esses dados são definidos por setor censitário a partir do censo 2010 do IBGE.

Para obtenção desse indicador de sensibilidade foi realizado a álgebra de mapas de acordo com a equação abaixo:

$$\text{SENSIBILIDADE} = 0,5 * \text{população sensível} + 0,3 * \text{população de baixa renda} + 0,2 * \text{densidade populacional}$$

2.4.2 Exposição

A exposição climática é composta pelo mapa climático analítico de Belo Horizonte e pelo extremo WSDI (Warm Spell Duration Index).

O mapa climático analítico, desenvolvido no Projeto FAPEMIG TEC-APQ-00146-12: MONITORAMENTO E MODELAGEM DE BALANÇO DE ENERGIA NA CIDADE DE BELO HORIZONTE, apresenta características a respeito do uso do solo (volume edificado, cobertura do solo, presença de áreas verdes, áreas permeáveis e não permeáveis), aspectos geográficos (topografia) e informações sobre a velocidade dos ventos. Esse mapeamento agrega informações sobre a carga térmica e o potencial dinâmico dentro da cidade de Belo Horizonte.

O WSDI é um extremo de temperatura que representa as ondas de calor, ele representa períodos com 6 dias ou mais de muito calor por ano. Esse extremo é definido com o número de casos por ano em que existem pelo menos 6 dias consecutivos em que a temperatura máxima ultrapassa o 90º percentil. Esse extremo foi calculado pelo INPE para a resolução espacial de 20 Km e disponibilizado em formato de texto (txt). Para a utilização no modelo foi realizado o tratamento dessa informação para o formato raster georreferenciado (geotiff), e interpolado para a resolução de 5 m, utilizada nos outros mapas.

O indicador de exposição foi gerado para cada ano a partir da equação a seguir:

$$\text{EXPOSIÇÃO} = 0,5 * \text{mapa climático analítico} + 0,5 * \text{wsdi}$$

2.4.3 Impacto Potencial

O impacto potencial do modelo geodemográfico apresenta a suscetibilidade associada às ondas de calor como combinação da sensibilidade e exposição apresentadas acima. Esse indicador foi calculado atribuindo-se mais peso para a sensibilidade pois os aspectos populacionais utilizados selecionam uma parcela dos habitantes da cidade que estão em

piores condições diante das ondas de calor. Esse indicador foi criado conforme à equação abaixo:

$$\text{IMPACTO POTENCIAL} = 0,6 * \text{SENSIBILIDADE} + 0,4 * \text{EXPOSIÇÃO}$$

O diagrama desse modelo está representado na Figura 10 abaixo:

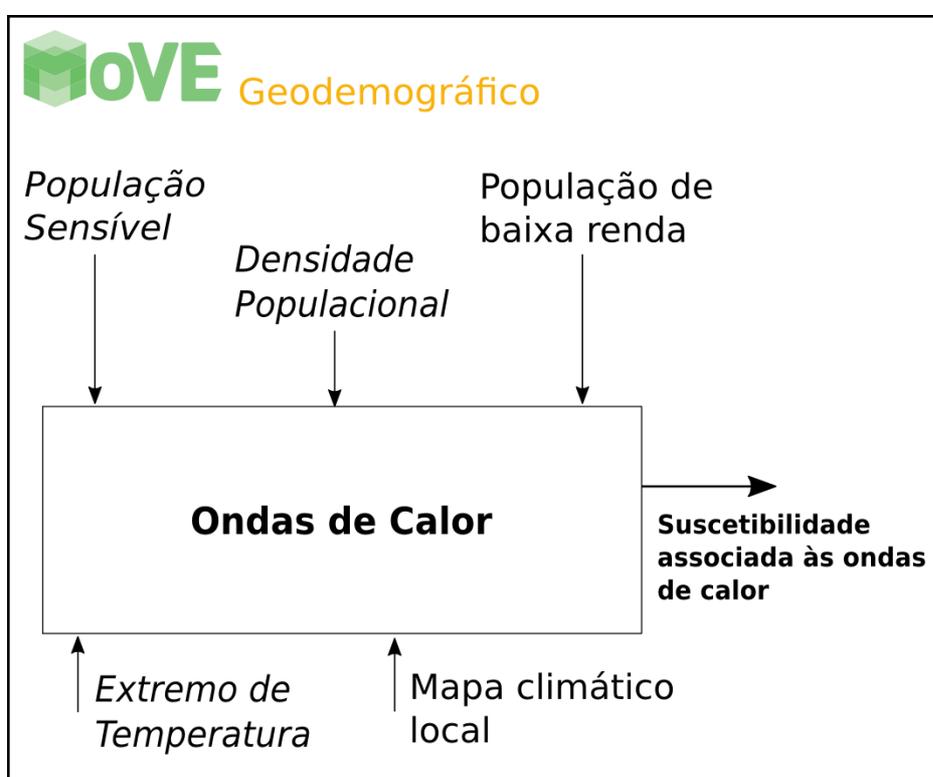


Figura 10 - Representação esquemática do submodelo Geodemográfico

2.4.4 Capacidade de Adaptação

O indicador de capacidade de adaptação às ondas de calor correspondem aos aspectos socioeconômicos que possibilitam a população amenizar os efeitos maléficos do excesso de calor. Para definir esse indicador foram combinados o IQVU de Saúde e o Rendimento nominal com resultado por Unidade de Planejamento de Belo Horizonte, e detalhados na capacidade de adaptação dentro da metodologia do impacto a Dengue.

Esse indicador sugere uma maior resiliência para as pessoas que têm melhor acesso às instalações e aos serviços de saúde, além de terem um rendimento que pode propiciar uma melhoria na residência ou na acessibilidade para ambiente menos insalubres durante as ondas de calor.

Foi utilizada apenas a capacidade de adaptação atual, pois em Belo Horizonte não é muito claro o planejamento futuro para minimizar os efeitos nocivos das ondas de calor.

2.4.5 Vulnerabilidade

O índice de vulnerabilidade demográfico associado às ondas de calor foi elaborado pela interação entre o impacto potencial (sensibilidade populacional e exposição aos longos períodos de calor no contexto urbano) e a capacidade de adaptação dos habitantes e da cidade. O impacto potencial foi considerado ligeiramente mais relevante, pois a capacidade de adaptação adotada não proporciona medidas direcionadas para esse fim. O cálculo desse índice é dado pela seguinte equação:

$$\text{VULNERABILIDADE} = 0,6 * \text{IMPACTO POTENCIAL} + 0,4 * (1 - \text{CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO})$$

3. APÊNDICE C

3.1 TABELAS INUNDAÇÃO

Tabela 5: Sensibilidade - Sub-bacias Hidrográficas

Sub-bacia	Regional	Sensibilidade
Ribeirão Pampulha	Pampulha	1,00
Ribeirão da Onça	Nordeste	0,81
Córrego do Nado	Venda Nova	0,65
Córrego Sarandi	Pampulha	0,60
Córrego do Jatobá	Barreiro	0,53
Córrego Vilarinho	Venda Nova	0,46
Córrego Cachoeirinha	Nordeste	0,44
Córrego da Ressaca	Pampulha	0,41
Ribeirão Arrudas	Oeste	0,34
Córrego Pintos (Avenida Francisco Sá)	Oeste	0,27

Tabela 6: Exposição - Sub-Bacias Hidrográficas

Sub-bacia	Regional	Exposição Histórico	Exposição Simulado	Variação
Córrego da Serra	Centro- Sul	1,00	0,69	-0,31
Córrego do Leitão	Centro- Sul	1,00	0,69	-0,31
Córrego do Jatobá	Barreiro	0,88	0,57	-0,31
Ribeirão Barreiro	Barreiro	0,88	0,57	-0,31
Córrego Engenho Nogueira	Noroeste	0,80	0,59	-0,21
Córrego Cachoeirinha	Nordeste	0,70	0,56	-0,14
Córrego Ituiutaba	Leste	0,69	0,64	-0,05
Córrego Santa Inês	Leste	0,69	0,64	-0,05
Córrego São Geraldo	Leste	0,69	0,64	-0,05
Córrego do Nado	Venda Nova	0,62	0,56	-0,06
Córrego Suzana	Pampulha	0,62	0,58	-0,04
Ribeirão Pampulha	Pampulha	0,55	0,66	0,11
Córrego da Ressaca	Pampulha	0,51	0,45	-0,06
Córrego Vilarinho	Venda Nova	0,45	0,52	0,07
Ribeirão do Isidoro	Norte	0,45	0,58	0,13
Córrego da Av. Mem de Sá	Leste	0,42	0,48	0,06
Córrego da Mata	Leste	0,42	0,48	0,06
Córrego do Navio	Leste	0,42	0,48	0,06
Córrego Pintos (Av. Francisco Sá)	Oeste	0,35	0,52	0,17
Córrego Açudinho	Norte	0,33	0,48	0,15
Ribeirão da Onça	Nordeste	0,33	0,48	0,15
Córrego Gorduras	Nordeste	0,22	0,29	0,07

Tabela 7: Impacto Potencial - Sub-Bacias Hidrográficas

Sub-bacia	Regional	Impacto Histórico	Impacto Simulado	Varição
Ribeirão Pampulha	Pampulha	0,77	0,79	0,02
Córrego do Leitão	Centro-Sul	0,71	0,53	-0,18
Córrego da Serra	Centro-Sul	0,65	0,47	-0,18
Córrego do Jatobá	Barreiro	0,65	0,47	-0,18
Córrego Cachoeirinha	Nordeste	0,60	0,52	-0,08
Ribeirão Barreiro	Barreiro	0,59	0,40	-0,19
Córrego Engenho Nogueira	Noroeste	0,54	0,42	-0,12
Córrego Ituiutaba	Leste	0,53	0,50	-0,03
Córrego Suzana	Pampulha	0,49	0,46	-0,03
Córrego São Geraldo	Leste	0,48	0,45	-0,03
Córrego Santa Inês	Leste	0,47	0,44	-0,03
Córrego Vilarinho	Venda Nova	0,46	0,49	0,03
Córrego do Nado	Venda Nova	0,45	0,42	-0,03
Córrego da Ressaca	Pampulha	0,39	0,43	0,04
Ribeirão do Isidoro	Norte	0,38	0,45	0,07
Córrego da Mata	Leste	0,35	0,39	0,04
Córrego Pintos (Av. Francisco Sá)	Oeste	0,32	0,46	0,14
Córrego da Av. Mem de Sá	Leste	0,31	0,35	0,04
Córrego do Navio	Leste	0,31	0,34	0,03
Córrego Açudinho	Norte	0,27	0,36	0,09
Ribeirão da Onça	Nordeste	0,27	0,36	0,09
Córrego Gorduras	Nordeste	0,27	0,31	0,04

Tabela 8: Capacidade de Adaptação - Sub-Bacias Hidrográficas

Sub-bacia	Regional	Capacidade de Adaptação 2016	Capacidade de Adaptação 2030	Variação
Córrego do Nado	Venda Nova	0,60	0,73	0,13
Córrego Vilarinho	Venda Nova	0,58	0,58	0,00
Córrego do Jatobá	Barreiro	0,54	0,80	0,27
Córrego da Ressaca	Pampulha	0,48	0,58	0,10
Córrego do Leitão	Centro-Sul	0,46	0,51	0,05
Córrego Engenho Nogueira	Noroeste	0,41	0,54	0,13
Córrego da Mata	Leste	0,39	0,39	0,00
Córrego Pintos (Av. Francisco Sá)	Oeste	0,37	0,42	0,05
Ribeirão Pampulha	Pampulha	0,37	0,42	0,05
Córrego Cachoeirinha	Nordeste	0,36	0,41	0,05
Córrego da Av. Mem de Sá	Leste	0,36	0,36	0,00
Ribeirão Barreiro	Barreiro	0,35	0,40	0,05
Ribeirão da Onça	Nordeste	0,33	0,38	0,05
Córrego do Navio	Leste	0,31	0,31	0,00
Ribeirão do Isidoro	Norte	0,30	0,30	0,00
Córrego da Serra	Centro-Sul	0,29	0,29	0,00
Córrego Santa Inês	Leste	0,28	0,28	0,00
Córrego Suzana	Pampulha	0,28	0,28	0,00
Córrego Gorduras	Nordeste	0,28	0,28	0,00
Córrego Ituiutaba	Leste	0,26	0,26	0,00
Córrego São Geraldo	Leste	0,25	0,25	0,00
Córrego Açudinho	Norte	0,25	0,25	0,00

Tabela 9: Vulnerabilidade - Sub-Bacias Hidrográficas (Sem Medidas de Adaptação)

Sub-bacia	Regional	Vulnerabilidade Histórico	Vulnerabilidade Simulado	Variação
Córrego da Serra	Centro-Sul	0,81	0,69	-0,12
Ribeirão Pampulha	Pampulha	0,79	0,81	0,02
Córrego Ituiutaba	Leste	0,68	0,66	-0,02
Córrego do Leitão	Centro-Sul	0,68	0,55	-0,12
Ribeirão Barreiro	Barreiro	0,67	0,54	-0,12
Córrego Cachoeirinha	Nordeste	0,66	0,61	-0,05
Córrego São Geraldo	Leste	0,65	0,63	-0,02
Córrego Santa Inês	Leste	0,64	0,62	-0,02
Córrego Suzana	Pampulha	0,64	0,62	-0,02
Córrego Engenho Nogueira	Noroeste	0,63	0,55	-0,08
Córrego do Jatobá	Barreiro	0,59	0,47	-0,12
Ribeirão do Isidoro	Norte	0,56	0,60	0,05
Ribeirão da Onça	Nordeste	0,55	0,57	0,02
Córrego Gorduras	Nordeste	0,52	0,54	0,03
Córrego Açudinho	Norte	0,51	0,57	0,06
Córrego do Navio	Leste	0,50	0,52	0,02
Córrego da Mata	Leste	0,48	0,50	0,02
Córrego da Av. Mem de Sá	Leste	0,47	0,50	0,02
Córrego da Ressaca	Pampulha	0,47	0,49	0,02
Córrego Pintos (Av. Francisco Sá)	Oeste	0,47	0,54	0,07
Córrego do Nado	Venda Nova	0,44	0,42	-0,02
Córrego Vilarinho	Venda Nova	0,44	0,46	0,02

Tabela 10: Vulnerabilidade - Sub-Bacias Hidrográficas (Com Medidas de Adaptação)

Sub-bacia	Regional	Vulnerabilidade Histórico	Vulnerabilidade Simulado	Variação
Córrego da Serra	Centro-Sul	0,81	0,69	-0,12
Ribeirão Pampulha	Pampulha	0,79	0,78	-0,01
Córrego Ituiutaba	Leste	0,68	0,66	-0,02
Córrego do Leitão	Centro-Sul	0,68	0,52	-0,15
Ribeirão Barreiro	Barreiro	0,67	0,51	-0,15
Córrego Cachoeirinha	Nordeste	0,66	0,58	-0,09
Córrego São Geraldo	Leste	0,65	0,63	-0,02
Córrego Santa Inês	Leste	0,64	0,62	-0,02
Córrego Suzana	Pampulha	0,64	0,62	-0,02
Córrego Engenho Nogueira	Noroeste	0,63	0,47	-0,17
Córrego do Jatobá	Barreiro	0,59	0,30	-0,29
Ribeirão do Isidoro	Norte	0,56	0,60	0,05
Ribeirão da Onça	Nordeste	0,55	0,57	0,02
Córrego Gorduras	Nordeste	0,52	0,54	0,03
Córrego Açudinho	Norte	0,51	0,57	0,06
Córrego do Navio	Leste	0,50	0,52	0,02
Córrego da Mata	Leste	0,48	0,50	0,02
Córrego da Av. Mem de Sá	Leste	0,47	0,50	0,02
Córrego da Ressaca	Pampulha	0,47	0,43	-0,04
Córrego Pintos (Av. Francisco Sá)	Oeste	0,47	0,51	0,04
Córrego do Nado	Venda Nova	0,44	0,34	-0,10
Córrego Vilarinho	Venda Nova	0,44	0,40	-0,04



Minas Gerais

BH-TEC - Parque Tecnológico de Belo Horizonte
Rua Professor José Vieira de Mendonça, 770 - Sala 210

Engenho Nogueira - Belo Horizonte - MG

CEP 31310 - 260

Telefone | Fax 55 31 3401.1074

www.waycarbon.com

A WayCarbon é referência em assessoria sobre Mudanças Globais do Clima, em gestão de ativos ambientais e em desenvolvimento de estratégias e estruturação de negócios visando eco eficiência e economia de baixo carbono.